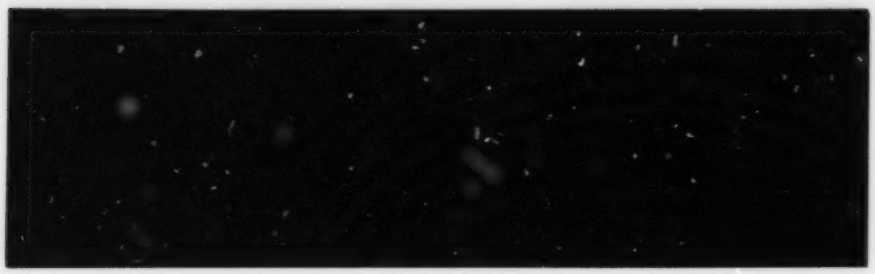
CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Efficiency and Alternative Energy Technology Branch

Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement



Energy, Mines and Resources Canada

Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

THE ENERGY OF OUR RESOURCES · THE POWER OF OUR IDEAS

L'ÉNERGIE DE NOS RESSOURCES · NOTRE FORCE CRÉATRICE

91-02424/

Les grandes lignes des microcentrales hydroélectriques au Québec

MANUEL CANADIEN DE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE A FAIBLE PUISSANCE : RÉGION DU QUÉBEC, ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR INSTALLATIONS DOMESTIQUES

PRÉPARÉ POUR:

Direction de la technologie de l'efficacité énergétique
et des énergies de remplacement
Énergie, Mines et Ressources Canada
Ottawa (Ontario)
Novembre 1989

PRÉPARÉ PAR:

Serge Proulx, ing.-associé
Le Groupe-conseil LNR
3385, rue King Ouest
Sherbrooke (Québec)
et
Esther Girard, ing.
RÉDATECH

MICROMEDIA

AUTORITÉ SCIENTIFIQUE:

Tony Tung
Direction de la technologie de l'efficacité
énergétique et des énergies de remplacement
Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

32 pp

Proulx S. et E. Girard. Manuel canadien de centrale hydroélectrique à faible puissance : région du Québec, étude de faisabilité pour installations domestiques. Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement, Énergy, Mines et Ressources Canada, Ottawa (Ontario) 1989 (26 pp.)

Énergie, Mines et Ressources Canada met à votre disposition un document, complémentaire à celui-ci, portant sur des installations commerciales québécoises alimentées par centrale hydroélectrique à faible puissance.

Pour obtenir des exemplaires du présent rapport s'adresser à la:

Direction de la technologie de l'efficacité énergétique
et des énergies de remplacement
Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

NOTE:

Le présent rapport est diffusé à titre documentaire uniquement. Il ne traduit pas nécessairement l'opinion du gouvernement du Canada et ne constitue pas une recommendation d'aucun produit commercial ou d'aucune personne. Ni le Canada, ni ses ministres, agents, employés ou mandataires ne donnent de garantie à l'égard du présent rapport et n'assument aucune responsabilité liée au présent rapport.

Les nombreuses heures que nous avons mis pour préparer ce document témoigne de notre désir de vous faire partager l'excitation et les connaissances d'un domaine aussi intéressant que les microcentrales hydroélectriques. Il vous permettra de mieux comprendre cette technologie et d'y situer la place que vous pouvez y occuper.

MAIS ATTENTION!

Ce document est conçu pour introduire au vocabulaire et à l'esprit critique nécessaires à la compréhension des grandes étapes des projets hydroélectriques de faibles puissances. Par conséquent, ce manuel en lui seul ne peut pas remplacer les services professionels et spécialisés qui sont requis pour la conception d'une centrale. Énergie, Mines et Ressources Canada ne saurait donc être tenu responsable de dommages consécutifs à son utilisation inadéquate.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990
N°. de catalogue M91-7/81-1990F
ISBN 0-662-96096-3

COMMENT UTILISER CE MANUEL?

Ce manuel est conçu de manière à vous permettre d'effectuer vous-même toutes les démarches préliminaires qui vous permettront d'évaluer la faisabilité d'un projet hydroélectrique pour **usage domestique** .

Si vous habitez près d'un cours d'eau depuis quelques années, vous avez certainement constaté qu'il existe des fluctuations dans son débit, que son niveau monte et descend, qu'il réagit à la tombée de la pluie à un moment bien précis et que son cours change lors des crues.

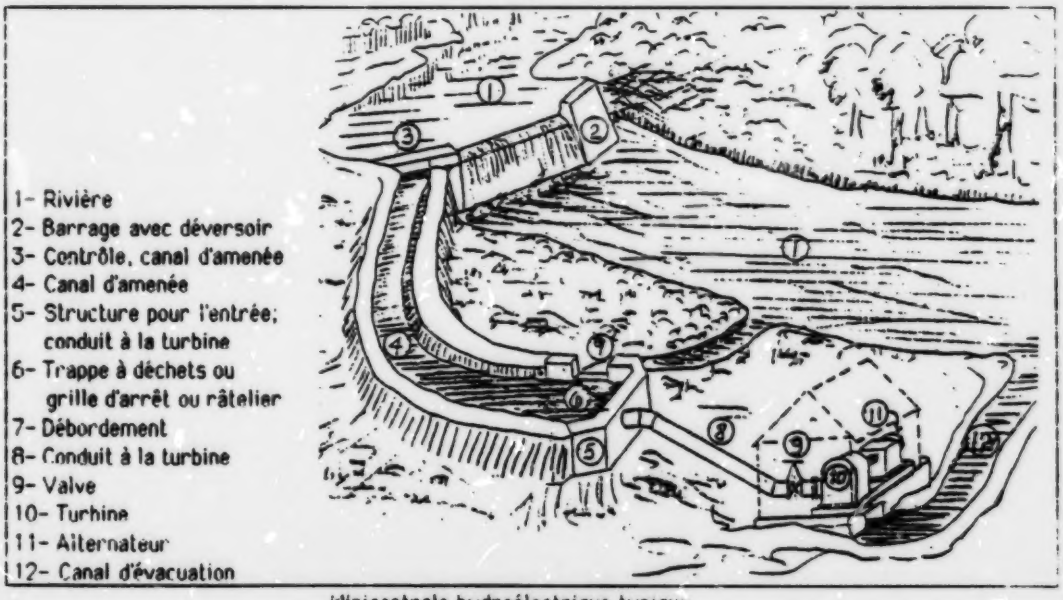
Que vous envisagiez actuellement d'utiliser ce cours d'eau pour votre future installation hydroélectrique ou que vous soyez plutôt à sa recherche, vous aurez à composer avec ces contraintes matérielles qui limiteront le potentiel de votre site. Avant d'investir des montants importants et de commencer à construire, il est fondamental de savoir si ce site sera réellement à la mesure de vos attentes. Pour ce faire, il vous faut:

1. Évaluer vos besoins en matière énergétique.
2. Mesurer le potentiel hydroélectrique de votre site. puissance, débit et hauteur de chute.
3. Obtenir les autorisations légales
4. Choisir l'équipement mécanique.
5. Choisir l'équipement électrique
6. Calculer les coûts.
7. Préparer les documents.
8. Mettre en branle votre projet.

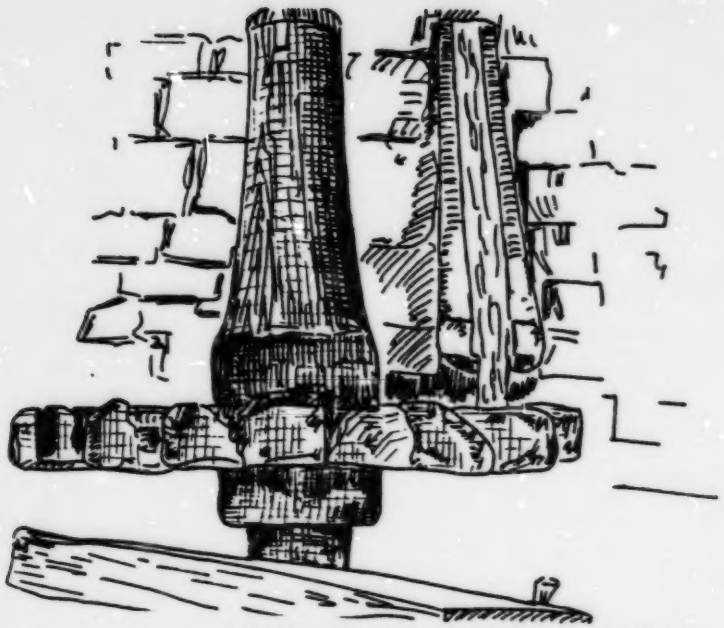
La structure de ce manuel vous fera franchir toutes ces étapes, les unes après les autres.

Mais attention, il s'agit ici seulement d'une étude de faisabilité préliminaire.Énergie Mines et Ressources Canada a également publié un manuel plus volumineux qui s'intitule:

«LES GRANDES LIGNES
DES MINICENTRALES HYDROÉLECTRIQUES,
Étude de faisabilité
pour installations commerciales.»



Minicentrale hydroélectrique typique.



L'ancêtre des roues vitruviennes: la roue à cuve

CONTENU

Comment utiliser ce manuel?

L'hydroélectricité de faible puissance: pour qui est-ce rentable?

1. Quels sont vos besoins en matière énergétique?
2. Quel est le potentiel hydroélectrique de votre site?
3. La loi sera-t-elle de votre bord?
4. Comment choisir l'équipement mécanique?
5. Comment choisir l'équipement électrique?
6. Combien coûterait votre projet?
7. Quels documents devrez-vous préparer?
8. Étude d'un cas: Cascade Savard, Manicouagan.
9. Qui sont les gens et les organismes capables de vous aider?

Annexes .

Annexe 1- Glossaire
Annexe 2- Sommaire du projet
Annexe 3- Mesure du débit
Annexe 4- Mesure de la hauteur de chute
Annexe 5- Liste des manuels utiles

L'HYDROÉLECTRICITÉ DE FAIBLE PUISSANCE: pour qui est-ce rentable?

Le Canada, et plus particulièrement le Québec, sont reconnus dans le monde pour leur potentiel et leur expertise reliés aux centrales hydroélectriques. On a immédiatement en tête les alternateurs de la Baie de James et leurs millions de kilowatts! Pourtant, ce n'est pas rigoureusement exact! L'histoire et l'excellence de l'ingénierie québécoise en hydroélectricité de faible puissance rayonnent elles aussi dans le monde grâce à la géographie particulière et à la colonisation industrielle de notre territoire.

Les centrales hydroélectriques de faible puissance se situent en moyenne aux alentours de 500 à 1500 kW. On parle généralement de microhydroélectricité jusqu'à 100 kW, de minihydroélectricité jusqu'à 1 MW, puis de petite hydroélectricité jusqu'à 25 MW. Or dès la fin de XIXe siècle, beaucoup de nos usines, de nos mines et de nos villes avaient recours à cette forme d'énergie. Elles la produisaient elles-même grâce à de petites centrales autonomes à 600 V ou 2300 V, 60 Hz; énergie qui complémentait la roue à aube.

Plus tard, à la faveur de vastes réseaux interreliés ou de groupes électrogènes diesels portatifs qui offraient flexibilité et faible coût initial, ces installations de petite envergure sont peu à peu tombées en désuétude, bien que les collectivités de petites taille y soient toujours restées fidèles [comme les entreprises d'exploitation des ressources naturelles, les fermes et les hôtelleries de villégiature].

La grande crise du pétrole des années 70 a remis à la mode la production hydroélectrique de faible puissance dont le coût d'exploitation redevient aujourd'hui compétitif.

Finalement, un nouveau marché est devenu accessible suite à la cure de rajeunissement technologique des petites centrales dont les coûts de construction ont dramatiquement tombé avec l'arrivée de turbines moins encombrantes, plus légères, plus rapides, de régulateurs de vitesse et/ou de charge électroniques, ainsi que de conduites en plastique bien meilleur marché.

Pourtant les coûts de construction et d'exploitation hydroélectriques doivent être considérés en regard à la difficulté de répondre à vos besoins énergétiques. En effet, les coûts relatifs à une microcentrale d'usage domestique commencent à 2000$/kW, soit un montant minimum de 20 000$ pour une petite maison unifamiliale. Une ligne de raccord au réseau provincial coûte 24 000 $/km, l'énergie 0,05$/kW.h, soit 1250$ pour 25 000 kW.h/an pour la même résidence.

Autrement dit, si vous êtes situé à un kilomètre du réseau public, votre centrale coûte comparativement 4 000$ de moins tout en vous faisant économiser 1250$/an pour l'énergie; et lorsque votre hypothèque de 20 000$ sera remboursée, sa valeur résiduelle vous appartiendra en propre.

Pour l'usage domestique, l'intérêt de l'hydroélectricité de faible puissance se pose donc ainsi:

- Auriez-vous facilement accès à un réseau public?
- Le coût de la ligne de raccord serait-elle moins élevée que le coût total de la centrale?
- L'aspect écologique est-il décisif pour vous?

si non:

- Le site peut-il subvenir totalement à vos besoins électriques?
- Un autre mode de production est-il disponible?

Par ailleurs, le législateur québécois prépare actuellement une réglementation visant les centrales hydroélectriques de faibles puissances pour lesquelles Hydro-Québec détiendra un premier droit de refus.

Malgré ces embûches, peut-être êtes-vous déjà prêt, ou prête, à vous embarquer à corps perdu dans la grande aventure des microcentrales hydroélectriques. C'est bien. Nous vous invitons à partager quelques moments avec nous en lisant ce manuel, juste pour le plaisir; il pourrait bien vous révéler ce que vous réserve votre avenir hydroélectrique!

SMALL-SCALE HYDRO ELECTRIC POWER:
Is it worthwhile for you?

Canada, and particularly Québec, are recognized internationally for both our resource potential and expertise in the production of hydro-electric power. One immediate example is the James Bay project and its capacity to produce millions of kilowatts. However, our expertise is not limited to such mega-scale projects. The history and excellence of Québec's engineering in small-scale hydro-electricity is noteworthy due to the specific geography and industrial colonization of its territory.

In the scale of hydro-electric plants, "small hydro" power ranges between 500 and 1,500 kW in magnitude. In general, systems which produce less than 25 MW are referred to as small hydro systems; power production of less than 1 MW is called "mini hydro"; and production of 100 kW or less is referred to as "micro hydro". By the end of the 19th century, many industrial plants, mining operations and Canadian cities depended on small hydro power, produced with small autonomous 600-to-2,300 V, 60 Hz turbines operated with water wheels.

Later, the advent of large inter-connected power networks and flexible low-cost diesel generators caused small hydro systems to become increasingly obsolete in heavily populated areas of the country. However, communities, farms, industrial plants and holiday resorts located in remote areas of Canada or some distance from utility power grids have continued to depend on independent hydro power production.

The oil crisis of the 70s was instrumental in bringing small hydro electrical production back into the power production mainstream at a competitive cost.

Finally, new markets for small hydro technology are opening up as a result of research and development. Costs have been significantly reduced with the development of smaller, lighter, faster turbines, electronic regulators for speed and power load control, as well as less expensive plastic piping.

Construction and operating costs must be considered in addressing your power needs. The costs related to a micro hydro-electric dams start at $2,000/kW, which means at minimum $20,000 to provide electricity for a small single-family dwelling. A connection line to the main utility network costs about $24,000/km and electricity $.05/kWh, which results in $1,250 for 25,000 kWh/yr for the same residence.

In other words, if you are located 1 km from the public utility network, your power station will cost comparatively $4,000 less,

allowing you to save $1,250 in energy costs. When your $20,000 mortgage is paid off, the station will be yours.

For private use, small hydro-electric power stations must be considered from the following standpoints:

- Do you have easy access to a public utility network?
- Would the cost of linking to a utility network be less than the total cost of constructing a power station?
- Are the power station's implications on the environment an issue for you?

If not:

- Can the site supply all your electrical needs?
- What are the other possibilities?

The Québec government is currently drafting regulations regarding small hydro power plants which provide Hydro-Québec with veto power at the planning stage.

Despite of these obstacles, you may be prepared to meet the exciting challenge presented by the world of small hydro-electric power. We invite you to share some time with us in exploring the ups and downs related to this fascinating field. This manual may prove revealing in terms of your future with hydro-electric power.

ALSO AVAILABLE:

Canadian Small Hydro Handbook: British Columbia Region. Prepared by Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ont. 1989. (764 pp.)

1. QUELS SONT VOS BESOINS ÉNERGÉTIQUES?

Vous devez déterminer à la fois votre consommation électrique et votre charge maximale quotidiennes et annuelles. La charge se mesure en puissance (kW); la consommation se mesure en énergie (kW.h), soit:

$$E = P \times t \qquad \text{(Équation 1)}$$

où:
E= Énergie électrique, en kW.h
P= Puissance électrique, en kW
t= Temps d'utilisation, en h

1.1 Votre charge maximale:

Vous devez connaître votre charge maximale pendant la journée et pendant l'année. Pour les calculer, vous devez additionner toutes vos charges ***simultanées*** . Le tableau 1 (page suivante) peut vous donner quelques indications. Sans contrôle énergétique automatisé, votre consommation électrique varie tout au long de la journée. Votre pointe de charge quotidienne se trouve probablement entre 8 et 18 h, comme l'illustre la figure 1. Votre pointe de l'année se situe sans doute pendant une heure de repas, au pire froid de l'hiver qui est habituellement pendant le mois de janvier, comme illustré sur la figure 2.

1.2 Votre consommation annuelle:

Si vous avez déjà un groupe électrogène ou un branchement avec un réseau public, vous connaissez sans doute déjà votre consommation. Autrement, vous aurez à la calculer en additionnant la consommation de tous les appareils que vous utilisez. Prenez également en considération le climat de votre région; votre consommation est forcément plus élevée si vous vivez dans les régions intérieures et nordiques du pays qu'elle ne l'est si vous habitez le littoral.

Prenons par exemple votre bouilloire électrique. Supposons qu'elle ait une puissance nominale de 1500W et vous l'utilisez pendant trois minutes, cinq fois par jour. Sa **consommation mensuelle** sera:

Énergie = Puissance x Temps d'utilisation
= 1,5 kW x [$\frac{3 \text{ min}}{60 \text{ min/ h}}$] x $\frac{5}{\text{jour}}$ x 30 $\frac{\text{jours}}{\text{mois}}$
= 11,4 kW.h/ mois

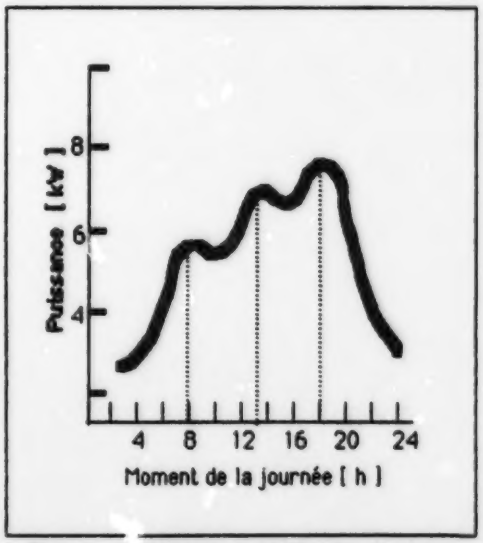


Figure 1 Charge quotidienne typique

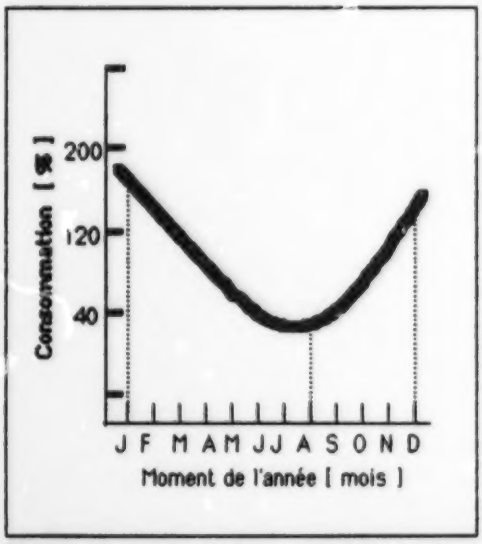


Figure 2 Consommation annuelle typique

ÉQUIPEMENT	PUISSANCE (Watts)	USAGE MOYEN (heures/mois)	ÉNERGIE CONSOMMÉE (kW.h/mois)
Air conditionné	1,560	74	116
Ampoules- chaque 60 W	60	120	7
chaque 100 W	100	90	9
chaque fluorescent 4'	50	240	12
Balayeuse	750	10	8
Cafetière	800	12	10
Chaîne stéréophonique	30	120	4
Chauffage électrique	6,000	250	1500
Chauffe-eau - 30 gallons	1,200	89	107
40 gallons	2,000	89	179
50 gallons	3,000	89	289
Chaufferette électrique	1,250	350	440
Congélateur de 15 pi3	350	240	84
Couverture électrique	200	80	16
Fer à repasser	1,100	12	13
Grille pain	1,150	4	5
Horloge	2	720	1
Laveuse à linge (15 brassées)	700	12	8
Machine à coudre	100	10	1
Malaxeur	125	6	1
Plaque chauffante	500	14	7
Poêle à 4 ronds	6,000	10	60
Pompe à eau (1/2 HP)	460	44	20
Prise du bloc moteur	450	300	135
Radio transistorisé	80	120	10
Réfrigérateur de 14 pi3	300	200	60
avec dégivreur	360	500	180
Robot culinaire	600	3	2
Sécheuse à linge	4,600	19	87
Séchoir à cheveux	400	5	2
Téléviseur couleur	350	125	44
Téléviseur noir et blanc	250	120	30
Ventilateur de cuisine	250	30	8
OUTILS À MAIN:			
- Perceuse (1/16 HP)	250	4	1
- Scie sauteuse (1 HP)	1,000	6	6
- Banc de scie (1 HP)	1,000	4	4
- Tour (1/2 HP)	460	2	1

Tableau 1 - Charges et consommations domestiques typiques

»»» Notez votre consommation et votre charge maximum annuelles à la section BESOINS ÉNERGÉTIQUES de l'annexe 2.

2. QUEL EST LE POTENTIEL HYDROÉLECTRIQUE DE VOTRE SITE?

.1 LA PUISSANCE DISPONIBLE

Pour estimer la puissance maximale que vous pouvez espérer de votre installation hydro-électrique, il vous faut tout d'abord évaluer son potentiel mécanique; c'est-à-dire:

- son débit théorique,
- sa charge hydraulique théorique
- ses pertes concrètes.

Dans toutes les installations physiques, la puissance réelle est inférieure à la puissance théorique. En hydroélectricité, ceci s'explique comme suit:

- *perte de charge hydraulique* causée par les fluctuations de débit à l'entrée de la conduite, par la friction dans la conduite et par la turbulence aux robinets et aux coudes.

- *perte de puissances mécanique et électrique* causées par la friction et les imperfections dans la turbine et la génératrice.

Dans la moyenne des cas, la perte de charge hydraulique dans la conduite représente environ 10% de la hauteur de chute brute. Celle dans la turbine se situe aux alentours de 15% suivant le type de turbine, celle de la génératrice 10%. Ces facteurs mis ensemble vous laissent espérer un rendement global d'environ 65%. La puissance disponible de la centrale est donc déterminée par:

$$P = \frac{e \times Q \times H}{k} \qquad \text{[Équation 2]}$$

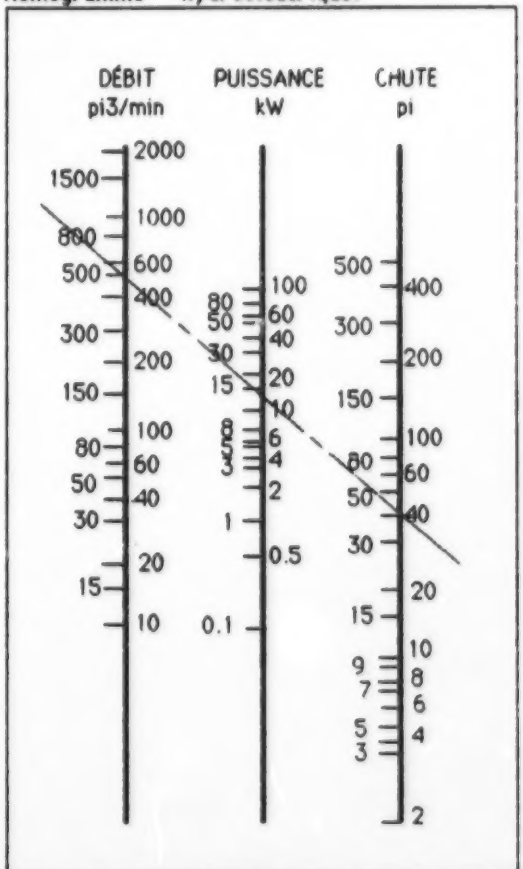
où:
P= Puissance de la centrale, en kW;
e= Rendement global de l'installation
Q= Débit dans la conduite, en pi^3/min ou L/s;
H= Hauteur de chute, en pi ou en m.
k= Constante de conversion des unités
[709, système anglais]
[102, système international]

On peut aussi calculer cette équation à partir d'un nomogramme à condition de déterminer un rendement fixe.

Exemples: Pour un rendement de 50%, un débit de 10 pi3/min tombant d'une hauteur de 15 pi génère la puissance d'une ampoule de 100 W; 500 pi3/min à 40 pi de hauteur fournit 14 kW, soit presque la consommation de la maison unifamiliale type.

[1 m3/s= 1000 L/s= 35.31 pi3/s= 2118 pi3/min]

Figure 3
Nomogramme hydroélectrique.



* Pour un rendement de 50%

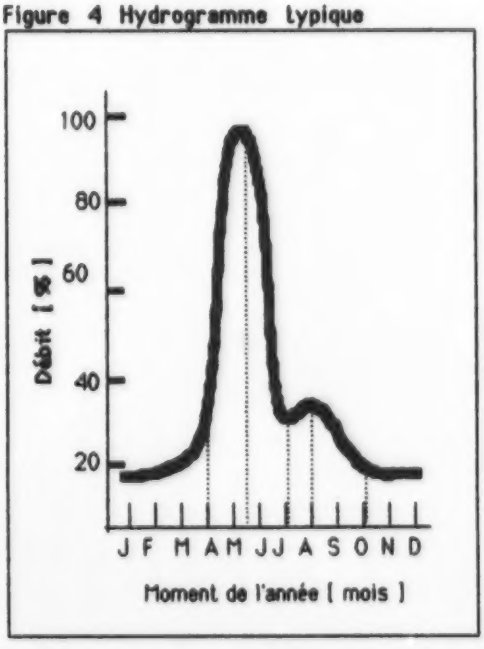
.2 LE DÉBIT DISPONIBLE

Le débit d'un cours d'eau n'est pas constant. Au contraire, il subit des fluctuations quotidiennes, saisonnières et parfois même annuelles. L'eau provient de la pluie et de la fonte des neiges sans que ces deux sources n'y participent entièrement ni immédiatement. Il faut compter les pertes causées par l'évaporation au sol, l'absorption d'humidité par les racines des plantes dans le sol et la pénétration dans le sol de l'eau de surface qui devient eau souterraine. Cette source souterraine peut mettre des semaines et des mois avant de s'écouler, elle n'est donc pas disponible pour la production d'énergie immédiatement après la pluie ou la fonte des neiges. Néanmoins, cet apport souterrain peut assurer un écoulement important durant les périodes sèches, en hiver comme en été.

On peut enregistrer ces variations de débits à l'aide d'un graphique appelé hydrogramme. Typiquement, on peut y voir des débits plus ou moins marqués:

1. faibles de janvier à mars [temps froids]
2. croissants en avril [fonte des neiges]
3. élevés et irréguliers en mai et juin [fonte des neiges et pluie]
4. croissants uniformément en juillet et août
5. faibles de nouveau, tout au long de l'automne

Figure 4 Hydrogramme typique



Bien que des débitmètres aient été installés dans plusieurs grands cours d'eau et rivières du Canada par les organismes gouvernementaux et que leurs hydrogrammes soient disponibles, il est peu probable que ce soit votre cas. Plusieurs méthodes de mesure du débit sont accessibles:

- Mesurer la vitesse de l'écoulement avec un flotteur; *et* mesurer la coupe transversale du cours d'eau avec un niveau et un ruban.
- Mesurer la vitesse de l'écoulement avec un débitmètre; *et* mesurer la coupe transversale du cours d'eau avec un niveau et un ruban.
- Mesurer l'écoulement par unité de temps avec un déversoir (i.e. construire un barrage au-dessus duquel l'eau peut s'écouler).

La méthode du flotteur suffit pour vos calculs préliminaires. Elle est décrite en détail à l'annexe 3.

La quantité d'eau que votre centrale hydroélectrique devra puiser du cours d'eau est cruciale par rapport au débit minimum de votre cours d'eau. Si on fait abstraction des lois et règlements qui limitent la portion du débit que vous pourrez détourner de votre cours d'eau, trois situations sont possibles:

a) Votre cours d'eau est important. Seule une toute petite partie du débit le plus faible est requise pour votre centrale. Vous pouvez considérer le débit infini.

b) Votre cours d'eau est petit. Son débit minimal semble juste égal au débit requis pour produire la puissance maximale. Vous devez alors mesurer le ***débit minimum annuel***, puis le ***débit minimum*** **absolu** sur une période de 20 ans.

c) Votre cours d'eau est un peu trop petit. Son débit minimal est inférieur au débit requis pour produire la puissance maximale. Il faudra emmagasiner de l'eau avec un barrage de retenue ou utiliser un groupe électrogène diesel pour pallier aux périodes de l'année à faible débit. Vous devez connaître non seulement les ***débits minima***, mais aussi le ***débit moyen*** afin de vérifier si vous pourrez remplir votre réservoir.

.3 LES DÉBITS MINIMA

Il y a deux façons très rapides d'évaluer les débits minima de votre cours d'eau, avec un peu de chance vous pourrez les utiliser:

- Demander aux résidents s'ils ont remarqué les marques des plus bas niveaux annuel et absolu.
- Consulter les relevés du cours d'eau le plus près, tels que consignés au Bureau régional du ministère de l'Environnement ou à la Division des relevés hydrologiques du Canada.

Dans ce dernier cas, on cherche à comparer le débit de votre cours d'eau à celui d'un cours d'eau avoisinant. Ayant mesuré votre débit un jour précis, vous pouvez établir le facteur comparatif avec la valeur consignée la même journée. Utilisez ensuite ce chiffre pour multiplier le débit minimum annuel du cours d'eau référentiel sur 5 jours consécutifs puis le débit minimum absolu consignés depuis 20 ans. Vous aurez ainsi pressenti les débits minima de votre propre cours d'eau.

Exemple: Vous avez mesuré le débit de votre cours d'eau le 25 août 1989 et il est de 1000 L/s. Vous avez aussi obtenu les renseignements suivants:

- Débit consigné le 25 août 1989 sur le cours d'eau le plus près= 2 320 L/s
- Débit minimum pendant cinq jours consécutifs depuis un an= 1250 L/s
- Débit minimum pendant cinq jours consécutifs depuis 20 ans= 530 L/s

Alors vous pouvez déduire: Mon cours d'eau vaut [1000/2320]= 0,43 fois le cours d'eau comparateur. Son débit minimum pendant l'année devrait être [0,43 x 1250 L/s] = 537,5 L/s; et sur 20 ans [0,43 x 530 L/s] = 228 L/s.

Mais attention la géologie du sol influence beaucoup ce calcul. La mesure réelle reste bien meilleure.

»»» Notez vos débits minimum annuel et absolu à la section DÉBITS de l'annexe 2.

.4 LA HAUTEUR DE CHUTE THÉORIQUE

La ***hauteur de chute théorique*** correspond à la valeur dont vous aurez théoriquement besoin compte tenu de l'ensemble des pertes prévisibles. Connaissant votre charge électrique maximale et votre débit minimal annuel, vous pouvez l'estimer à partir du nomogramme de la figure 3 ou de l'équation 2.

Exemple 1: Vous avez besoin de 20 kW que vous espérer produire avec un rendement de 50% et votre débit minimal annuel est 1000 pi3/min. Selon le nomogramme, votre hauteur de chute doit être 25 pi.

Exemple 2: Vous avez besoin de 15 kW que vous espérer produire avec un rendement de 60% et votre débit minimum annuel est 550 L/s (0,55 m3/s). Selon l'équation 2, votre hauteur de chute doit être:

$$H = \frac{102 \times P}{Q \times e} \qquad \text{[Équation 2]}$$

$$= [\ 102 \times 15\ ] / [\ 550 \times 0{,}6\ ]$$

$$= 4{,}6 \text{ m}$$

Cette valeur théorique constitue la hauteur préliminaire de votre chute d'eau. Elle vous permet de situer votre centrale et votre prise d'eau sur une carte topographique. Placez la centrale aussi près que possible de votre charge électrique [maison, chalet, etc] et du cours d'eau de façon à faciliter le renvoi de l'eau de la turbine. Placez la prise d'eau au sommet d'une partie élevée du cours d'eau. La différence de hauteur entre ces deux niveaux doit être supérieure à la valeur théorique.

»»» Notez votre hauteur de chute théorique à la section HAUTEURS DE CHUTE de l'annexe 2.

.5 LA HAUTEUR DE CHUTE BRUTE

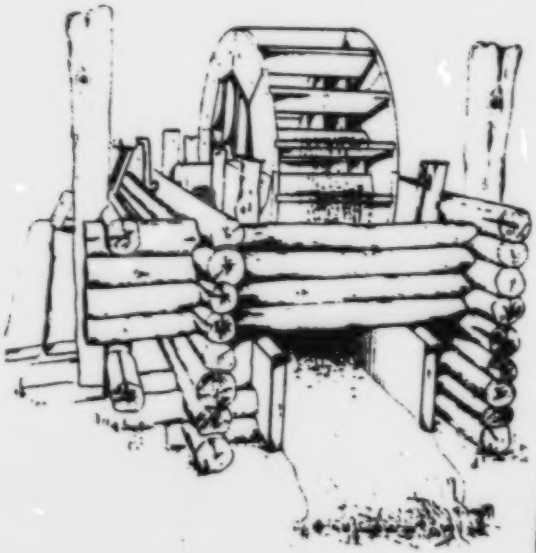
La ***hauteur de chute brute*** correspond à la différence réelle sur le terrain entre:

- la hauteur absolue de la prise d'eau, et
- la hauteur absolue de la sortie d'eau de la turbine.

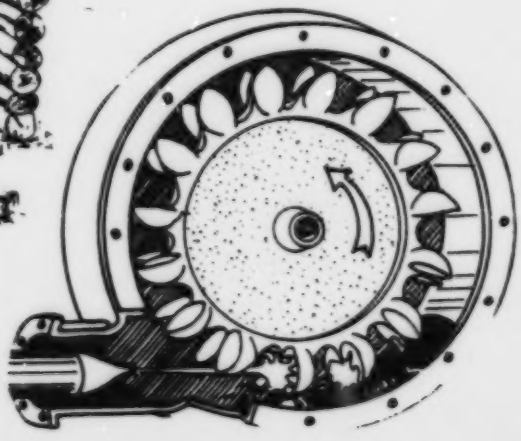
Vous devrez la mesurer sur le terrain. Plus elle est grande, moins la mesure a besoin d'être précise. Différentes méthodes sont décrites à l'annexe 4. Elles utilisent un altimètre, un niveau d'arpentage, un clinomètre ou un niveau manuel.

Mais attention, si la hauteur de chute est inférieure à 10 m, les fluctuations du niveau dans le bassin d'admission et celles du bassin d'évacuation auront un effet important sur la charge hydraulique. Une variation de 1 m dans le bassin d'entrée entraînera une différence de 10% dans la puissance de sortie. Par conséquent, la mesure que vous aurez à faire de la hauteur de chute brute devra être très précise. Vous devrez également prendre note du niveau dans le bassin d'entrée pour la mesurer. ***Et attention***, vous devrez aussi vérifier le niveau atteint pendant la crue de printemps pour savoir s'il est susceptible d'annuler votre chute d'eau!

»»» Notez votre hauteur de chute brute à la section HAUTEURS DE CHUTE de l'annexe 2.



Voici l'une des plus anciennes méthodes pour obtenir de l'énergie à partir de l'eau. Elle était utilisée à l'époque des Romains.



Quand on regarde la roue d'une turbine Pelton, on s'aperçoit que le principe a finalement peu changé.

3. LA LOI SERA-T-ELLE DE VOTRE BORD?

À ce point, vous connaissez maintenant assez bien votre site pour savoir s'il répond à vos besoins énergétiques compte tenu du débit et de la hauteur de chute disponibles. Vous avez en main les informations nécessaires pour déterminer l'équipement civil: barrage, réservoir de retenue et turbine.

Mais attention! Détenir un droit de propriété sur une terre ne signifie pas nécessairement que vous détenez aussi les droits d'usage pour le cours d'eau, la chute ou la rivière qui la traverse...

Les exigences légales peuvent limiter la portion du débit que vous pourrez utiliser en regard à l'environnement géologique et sonore, à la faune et à la flore, aux besoins agricoles ou industriels des autres usages, à la navigation maritime, aux réserves de pêches, aux espèces aquatiques protégées, etc.

Il est donc prudent de commencer à s'occuper des aspects légaux du projet en même temps que progresse l'étude de faisabilité technique.

Les permis et les autorisations relèvent de plusieurs paliers gouvernementaux: municipal, provincial et fédéral. Il vaut donc mieux se préparer en conséquence et s'attendre à un temps de réponse de plusieurs mois, voire un an et plus avant d'avoir obtenu les autorisations nécessaires. Et ce n'est pas toujours facile de s'y retrouver.

Les meilleurs arguments en faveur d'un projet hydroélectrique de faible puissance résident dans l'aspect non destructif de la ressource et dans son utilisation rationnelle. Il est donc impératif de s'assurer que ces points seront effectivement respecté sur la faune, la flore, l'environnement sonore et le patrimoine architectural. Il faut que le projet se fonde, s'intègre au site naturel tout en utilisant rationnellement la ressource. Il n'est pas impensable qu'il ajoute même à la valeur du site en nettoyant les berges, en créant des belvédères et en restaurant des réserves piscicoles.

Le Gouvernement du Québec prépare actuellement une législation réglementant la construction et l'exploitation des centrales hydroélectriques de faible puissance suivant le type de site. On peut s'attendre à y retrouver des items sur le droit de propriété et des baux hydroélectriques, aspects qui concernent:

- la juridiction d'Hydro-Québec: droit de premier refus du site.
- le MER (Ministère de l'énergie et des Ressources): administration des droits.
- le MENVIQ (Ministère de l'environnement du Québec): autorisations.
- le MLCP (Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche): espèces protégées
- les MRC (Municipalités régionales de comté): zonage des terres inondables.
- le MAC (Ministère des affaires culturelles): site à valeur patrimoniale.
- les municipalités: permis de construction
- la CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): programme de prévention pour le chantier de construction.
- la CPTA (Commission du territoire agricole): autorisation pour utilisation de la terre agricole pour des fins autres que l'agriculture.
- etc.

4. COMMENT CHOISIR L'ÉQUIPEMENT MÉCANIQUE?

Si la loi n'a pas limité la portion de votre cours d'eau que vous pouvez détourner au point de réduire dramatiquement le débit minimum dont vous aurez besoin et que les éléments naturels du site géologique sont adéquats, la faisabilité technique de votre projet est presque assuré. Vous pouvez penser à choisir votre équipement mécanique.

Mais attention! Cette étape est doublement cruciale et pas seulement pour les répercussions économiques.

Dans le milieu, les manufacturiers disent: **«Tous nos produits sont excellents, s'il y a problème, c'est que vous n'avez pas acheté la turbine qui correspond à vos besoins!»** Or se retrouver avec une turbine surdimensionnée signifie concrètement qu'elle peut fort bien ne pas être capable de fonctionner pendant une grande partie de l'année, faute du débit minimum *qu'elle* requiert pour s'amorcer! Entre nous, même si ça coûte moins cher, vaut mieux deux petites turbines qu'une seule plus grosse!

Cette stratégie prudente comporte un autre avantage. Au lieu de développer tout le potentiel du site d'un seul coup, vous pouvez progresser par étapes successives afin de suivre vos besoins futurs. Il n'y a plus de règle infaillible pour prédire l'augmentation de la demande électrique dans l'avenir. Planifier les assises pour développement futur afin de rationnaliser l'usage de la ressource mais ne bâtissez pas d'un seul coup.

Ceci étant dit, vous devrez choisir l'équipement qui convient le mieux à votre site. Le besoin d'un barrage avec passe à poisson, d'un réservoir de retenue ou d'une cheminée de compensation réduira beaucoup la faisabilité économique de votre projet. Par conséquent, il ne faut parfois considérer ces derniers éléments qu'en regard à des sites laissés à l'abandon mais susceptibles d'être réaménagés.

.1 LES BARRAGES

Lorsque l'épaisseur de l'eau ne permet pas de submerger l'entrée de la conduite forcée, un barrage doit relever son niveau. L'ouvrage doit résister à trois types de force, toutes dirigées vers l'aval:

- le renversement
- le glissement
- l'érosion

Plusieurs matériaux peuvent être utilisés, seuls ou en combinaison:

- la terre
- le bois
- la pierre
- la maçonnerie
- le béton

Il faut éventuellement considérer un déversoir, un évacuateur de crue et une passe à poisson.

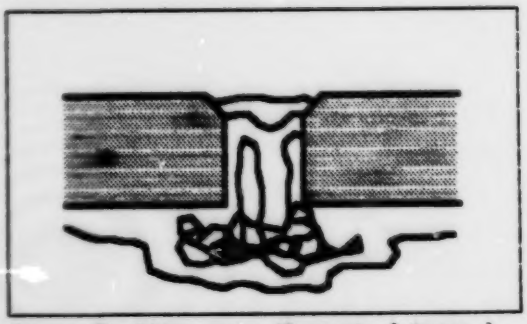


Figure 5- Digue avec déversoir (terre)

Figure 6- Barrage déversant (béton)

.2 LES CANALISATIONS D'ADDUCTION

L'eau est prise en amont. Qu'elle soit ensuite utilisée immédiatement ou entreposée dans un réservoir, elle devra finalement retourner au cours d'eau en aval. Pour ce faire, elle franchira:

- une grille à l'entrée de la prise,
- une canalisation d'amenée,
- une canalisation d'évacuation.

La vitesse, le risque de gel et la disponibilité des matériaux détermineront si on utilise:

- un canal à l'air libre
  - en bois,
  - en pierre
  - en maçonnerie
  - en béton
- une conduite forcée
  - en béton
  - en bois
  - en PVC
  - en acier

Chacun de ces matériaux a ses propres limites de résistance à la pression, à l'abrasion par l'eau, à la corrosion, à la dégradation par la lumière et à l'attaque des parasites. Le mélange de plusieurs matériaux n'est toujours un mariage heureux.

Bien sûr, il ne faut pas oublier d'ajouter des vannes d'étanchéité pour isoler la turbine afin d'effectuer son entretien.

Tout ceci créera forcément une perte de charge due au frottement de l'eau et à la turbulence au niveau des coudes bien que ceux-ci doivent être inférieurs à 45°. Cette perte se calcule en longueur perdue ou en % de la hauteur de chute brute pour obtenir la ***hauteur de chute nette***, valeur ultime pour la disponibilité d'énergie hydroélectrique.

Les entreprises qui vendent des conduites fournissent aussi différentes chartes qui permettent de déterminer le diamètre correspondant au débit voulu, et de déterminer les pertes hydrauliques correspondantes par longueur de canalisation d'un matérisu particulier.

Et attention, plus la vitesse est élevée, plus l'arrêt de la turbine est critique. Une fermeture trop brusque entraine automatiquement la propagation d'une onde de choc suivie d'un coup de bélier dans les conduites forcées. Cette force est parfois capable de faire éclater la canalisation. Il faut donc prévoir un contrôle d'arrêt adéquat ou un réservoir de compensation qui prend la forme d'une cheminée de diamètre imposant.

Figure 7- Barrage avec chute concentrée

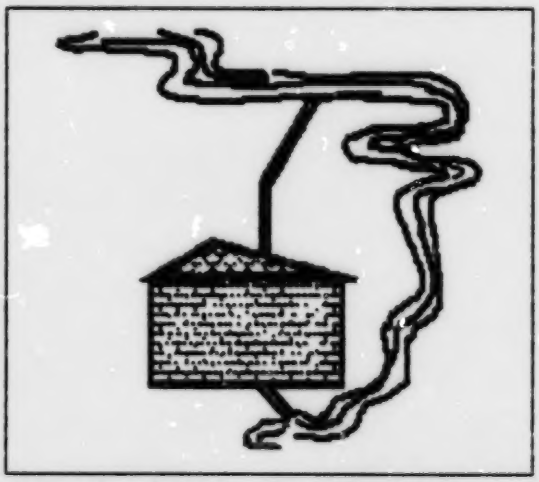


Figure 8 - Centrale avec chute divisée

.3 LES ROUES VITRUVIENNES

En marge de la roue à cuves à axe vertical dont le rendement était médiocre [15 à 20%], Marcus Vitruvius développa au I^{e} siècle avant J.C. la première roue à axe horizontal. De nos jours, les roues vitruviennes sont encore populaires pour transformer l'énergie d'un cours d'eau en énergie mécanique. Leur diamètre est encombrant, leur vitesse et leur rendement faibles. L'eau est amenée à l'air libre et conséquemment, elles doivent être protégées contre le gel. Cependant elles ont deux avantages indéniables: elles peuvent fonctionner même si le débit varie beaucoup et elles peuvent être construites dans n'importe quel atelier de fabrication mécanique.

LES ROUES AU DESSUS:

Il y a deux types de roues au dessus:

- la roue à augets
- la roue de poitrine

La roue à augets est alimentée directement au dessus. Elle convient particulièrement bien à une véritable chute pourvu qu'elle soit entre 3 et 10 m puisque la roue aura le même diamètre. Son rendement est autour de 70%. La roue de côté est alimentée grâce à une trappe de régulation qui est située sur le côté de sa partie supérieure. Elle convient bien aux hauteurs inférieures à 3 m. Son diamètre se situe entre une et trois fois la hauteur de chute. Son rendemcnt peut atteindre 65%.

LES ROUES EN DESSOUS:

Les roues en dessous sont apparues avant les roues en dessus. Leur rendement est moins bon que leurs successeures. Elles sont de deux types:

- la roue à aubes
- la roue Poncelet

La roue à aubes est placée directement dans le courant. Elle convient aux petites chutes [2 à 5 m], son diamètre est inférieur à 5 m et son rendement de 30%. La roue Poncelet est alimentée grâce à un injecteur. Elle convient bien aux hauteurs inférieures à 2 m. Son diamètre doit être égal à deux fois la hauteur de chute. Son rendement atteint 40%

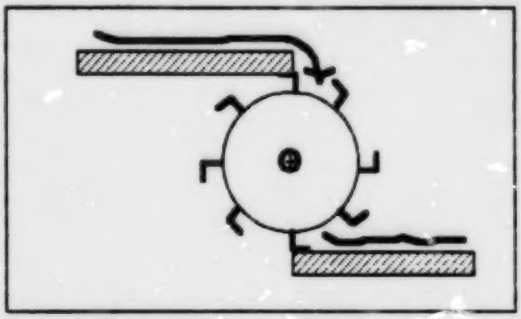


Figure 9- Roue au dessus ou à augets

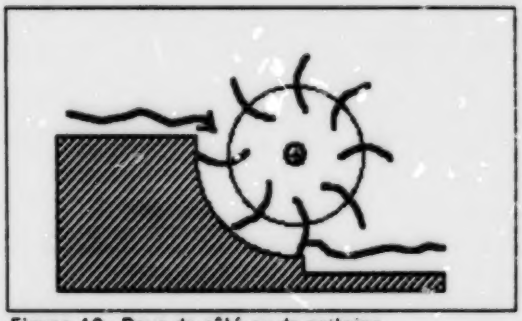


Figure 10- Roue de côté ou de poitrine

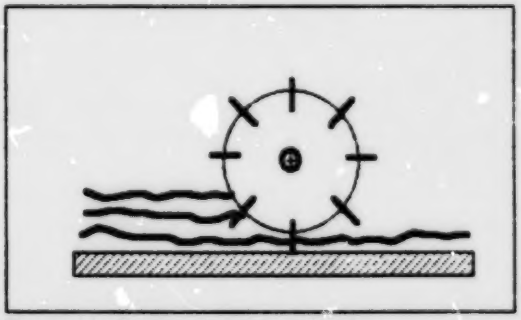


Figure 11- Roue en dessous ou à aubes

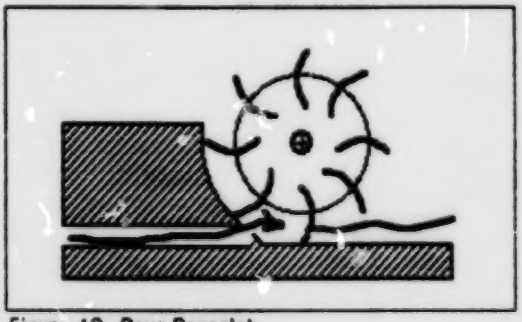


Figure 12- Roue Poncelet

.4 LES TURBINES

La turbine constitue l'élément ultime pour transformer efficacement en énergie mécanique l'énergie cinétique due à la vitesse et l'énergie de pression due à la hauteur du niveau d'eau. Leurs rendements se situent entre 80 et 90%.

LES TURBINES À IMPULSION:

Les turbines à impulsion misent sur la vélocité et les hautes chutes [>30 m]. Comme dans la roue à aube, l'injection d'eau est partielle. Elle provient d'une conduite forcée, entre en périphérie de la roue hydraulique et remplit un auget à la fois puis tombe simplement par gravité. Il n'y a pas succion à la sortie comme la décharge s'effectue à pression atmosphérique.

- Les turbines tangentielles
  - Pelton
  - Turgo
- Les turbines radiales
  - Banki-Mitchell

LES TURBINES À RÉACTION:

Les turbines à réaction misant sur la hauteur de chute et la grande quantité d'eau. Comme dans un ventilateur conventionnel, l'injection d'eau est totale. Elle frappe les pâles suivant leur axe, entrant côté amont, noyant complètement le tourniquet hydraulique dans une chambre d'eau, puis ressortant côté aval. Ces turbines conviennent aussi bien à l'horizontal qu'à la vertical. ***Mais attention***, l'étroitesse et la spécificité de leur plage de fonctionnement fait dramatiquement chuter leur performance si le débit varie!

- Turbine mixte
  - Francis
- Turbines axiale
  - Kaplan
  - Hélice
  - Bulbe

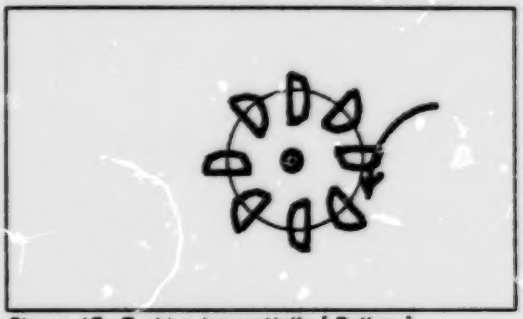


Figure 13- Turbine tangentielle [Pelton]

Figure 14- Turbine radiale [Banki-Mitchell]

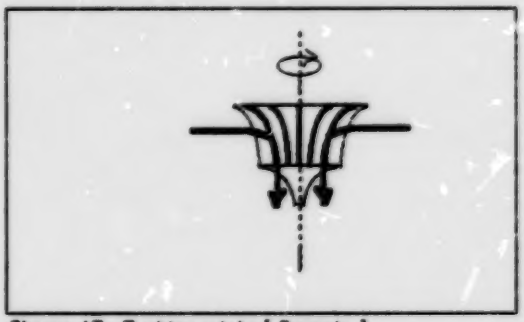


Figure 15- Turbine mixte [Francis]

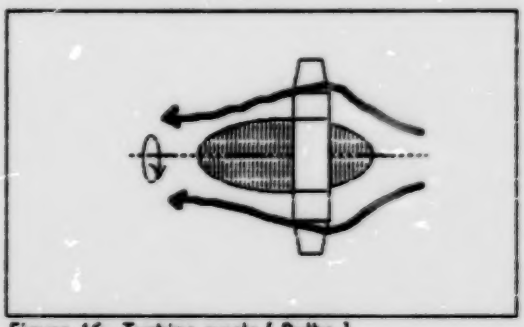


Figure 16- Turbine axiale [Bulbe]

5. COMMENT CHOISIR L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE?

Tout d'abord, il faut tenir compte du type de charges que vous avez à alimenter et de la distance qui les sépare de la centrale. Dans l'éventualité où une ligne de transmission serait nécessaire, elle augmentera significativement les coûts. Plus la distance sera grande, plus les fils devront être gros afin de compenser la perte de tension. Ceci est particulièrement critique en courant continu où une augmentation de la tension de génération est parfois nécessaire. Le courant alternatif est certainement préférable. Et si la génération monophasée rationnalise le magasin de pièces de rechange, les centrales opèrent généralement en triphasé, et ceci pour des raisons économiques à l'achat.

1. LE TYPE DE RÉSEAU

L'équipement électrique est déterminé en grande partie par le type de réseau dont vous avez besoin: réseau autonome ou interrelié, courant continu ou alternatif. Bien sûr, à cet égard l'électronique de puissance permet de générer en courant alternatif puis de redresser en courant continu, et vice-versa, mais ce ne sera pas souvent économique de le faire.

- RÉSEAU AUTONOME EN COURANT CONTINU:
  Impossible de vous raccorder au réseau public. Vous utiliserez sans doute un **générateur**.

- RÉSEAU AUTONOME EN COURANT ALTERNATIF TRIPHASÉ:
  La fréquence de votre choix et/ou **pas de raccord au réseau public**. Vous qualifiez pour l'**alternateur synchrone** qui opère de façon autonome. Il inclut un petit générateur, ou un redresseur électronique, pour fournir le courant continu nécessaire à son amorce.

- RÉSEAU INTERRELIÉ EN COURANT ALTERNATIF TRIPHASÉ:
  La solution la plus économique, **60 Hz avec raccord au réseau public** qui peut soit fournir, soit accepter de l'électricité. Vous pourrez vous contenter d'un **alternateur asynchrone** .

  Mais attention l'alternateur asynchrone n'est pas autonome, il a absolument besoin de la puissance réactive du réseau pour fonctionner adéquatement. Une batterie de condensateurs n'est pas sécuritaire.

2. LA SUPERVISION

Quand on se construit une centrale électrique, on aime bien savoir ce qui s'y passe. On a raison!

La vitesse de rotation d'un générateur c.c. détermine la tension qu'il génère. Si la tension tombe, les lampes deviendront moins lumineuses. Éventuellement, si la tension monte trop, les ampoules vont brûler.

La vitesse de rotation d'un alternateur synchrone détermine sa fréquence. Si elle est au dessus ou en dessous de la norme, les appareils comme les chaînes stéréophoniques et les horloges vont accélérer ou ralentir... Si elle fluctue, les lampes vont papillonner. Par ailleurs, c'est la tension d'excitation c.c. de l'alternateur qui détermine la tension c.a. à sa sortie. Encore là, si elle varie cela amènera des problèmes.

La vitesse de rotation d'un alternateur asynchrone détermine dans une certaine mesure s'il agira en alternateur (survitesse) ou s'il se convertira en moteur (sous vitesse). La facture payée au réseau public sera différente!

Par conséquent, le contrôle et la mesure demandent de vérifier au minimum:

- l'amorce:
  - le courant c.c. de l'excitatrice, ou
  - la puissance réactive (kVAR)
- la production:
  - la vitesse de rotation (RPM), et
  - la tension de sortie (Volt c.c. ou c.a.)
- la consommation:
  - le courant (Ampère c.c. ou c.a.), et
  - la puissance (kWatt), et
  - l'énergie (kW.h).

6. COMBIEN COUTERAIT VOTRE PROJET?

Les coûts d'une minicentrale hydroélectrique dépendent d'un grand nombre de facteurs qui incluent la topographie, la géologie du sous-sol et la disponibilité de l'équipement.

En général, les coûts commencent à 2000$ par kilowatt installé en considérant un site favorable, avec un barrage déjà existant ou une centrale au fil-de-l'eau. Mais à ce coût minime, une grande partie de la construction doit être faite par vous-même. Il vous faudrait donc aimer le bricolage.

Les coûts des structures civiles sont souvent égaux aux coûts de l'installation électrique. Si un ligne de transmission est nécessaire ou encore si le site est défavorable, ils peuvent augmenter dramatiquement, jusqu'à 5000$ du kilowatt.

Une installation sur haute chute est habituellement plus économique que celle de même capacité en basse chute parce qu'elle requiert un débit moins élevé d'où réduction de la turbine et des structures (entrée, canal d'amenée, tuyauterie et canal d'évacuation).

Plus l'installation est petite, plus elle sera dispendieuse au kilowatt. L'équipement de seconde main diminue beaucoup ces coûts, cependant elle exige plus d'entretien par la suite et a forcément une durée de vie réduite. **Et attention** , même si c'est moins cher, il est vivement déconseillé d'utiliser des conduites usagées ou des valves à bille, et ceci en raison des coups de bélier.

Les minicentrales hydroélectriques se caractérisent par des coûts initiaux relativement élevés, cependant elles fournissent ensuite de l'énergie presque gratuitement pendant des années et des années. Il est donc extrêmement important que vous évaluiez les considérations suivantes:

- Quelle sera la période d'amortissement de votre investissement: 10, 15 ou 20 ans?
- Combien de temps prévoyez-vous demeurer en place et quelle sera la valeur marchande de votre installation en cas de vente?
- Est-il possible d'installer un groupe turboalternateur plus gros que nécessaire afin de vendre le surplus à un réseau public?
- Pouvez-vous ajouter, pour pratiquement le même prix, d'autres services comme un réseau d'irrigation et des bornes d'incendie?

Les dépenses en capital

- Plans
- Structures civiles et bâtiments
- Droits des riverains
- Main d'oeuvre pour la construction
- Groupe turboalternateur hydraulique et équipement de contrôle, mesure et transformation
- Ligne de transmission

Les dépenses d'exploitation

- Frais légaux
- Intérêt du capital
- Amortissement
- Main d'oeuvre pour l'entretien et l'opération
- Réparations
- Immobilisation pour pièces de rechange
- Impôts, assurance et administration

Une façon efficace de déterminer la rentabilité économique de votre projet est de calculer en dollard actuel les coûts réels pour la période d'amortissement et de les comparer avec les autres options possibles, comme un raccord avec le réseau public ou l'utilisation d'un groupe électrogène diesel.

Exemple:

- Centrale hydroélectrique de 10 kW
- Coût total de 20 000$ (auto-construction)
- Amortissement de 15 ans.
- Totalité du capital emprunté à 12% par an.
- Entretien total 3 140$ [100$ par année avec une augmentation de 10% par an].
- Valeur du groupe turboalternateur hydraulique de 2000$ après 15 ans [20% du prix d'achat].
- Situé à 1/2 kilomètre du réseau public.
- Achat d'électricité du service public possible à 0,05$ le kilowatt pour 10 000 kW.h par mois [augmentation de 5% par an].
- Consommation annuelle de 25 000 kW.h.
- Aucun crédit d'impôt et aucune subvention.

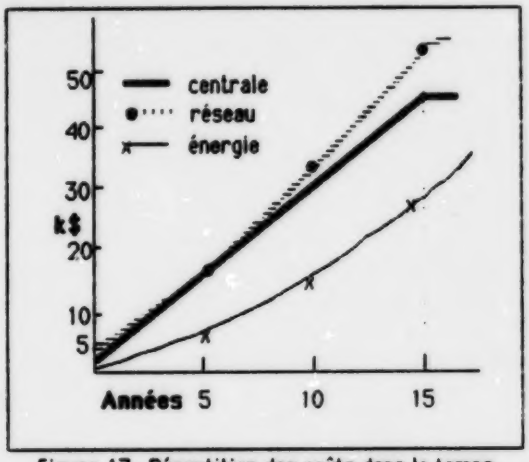


Figure 17- Répartition des coûts dans le temps

ANALYSE ÉCONOMIQUE

Microcentrale hydroélectrique

- Hypothèque de 20 000$ pour la centrale
- Frais d'entretien.

	Entretien	Hypothèque	Total
1e année	100$	2 835$	2 935$
5e année	610$	14 179$	14 793$
10e année	1 584$	28 359$	29 943$
15e année	3 141$	42 525$	45 666$

Raccord au réseau public

- Hypothèque de 12 000$ pour la ligne de raccord
- achat d'énergie du réseau public.

	Energie	Hypothèque	Total
1e année	1 250$	1 701$	2 951$
5e année	6 936$	8 507$	15 443$
10e année	15 750$	17 014$	32 764$
15e année	26 997$	25 522$	52 519$

Ces chiffres montrent que dès le départ, les paiements sont plus élevés au réseau public qu'en auto-construction. Malgré cela, une microcentrale ne constitue pas un placement financier spectaculaire. Sa justification économique est fortement dépendante de la possibilité de se raccorder au réseau public. La nécessité d'une ligne de transmission d'un côté comme de l'autre rajoute des frais importants qui sont décisifs. Et n'oublions pas qu'une centrale hydroélectrique demande un entretien délicat qui coûte peu d'argent mais qui exige du temps, des connaissances et de l'intérêt pour cette technologie.

7. QUELS DOCUMENTS DEVREZ-VOUS PRÉPARER?

.1 AUTORISATIONS LÉGALES:

Vous devrez préparer de nombreuses demandes d'autorisations légales avant de pouvoir commencer votre projet. Certaines d'entre elles peuvent être concourantes avec la construction si vous avez la certitude qu'elles seront acceptées. Commencez tôt, car elles peuvent prendre plusieurs semaines et facilement plusieurs mois avant d'être parfaitement en règle. À titre d'exemples, mentionnons: Permis d'exploitation, certificat du MENVIQ, permis de construction de la municipalité, permis de la CSST, etc.

.2 ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE:

Vous devrez évaluer la pertinence de chaque solution potentielle afin de les comparer techniquement. Les options les plus habituelles sont: le raccord au réseau public, l'utilisation d'un groupe électrogène diesel ou d'un groupe turboalternateur hydraulique.

.3 ÉTUDE DE RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE:

Compte tenue de la faisabilité technique, vous aurez en main une courte liste d'options possibles Il s'agit de choisir la plus pertinente en fonction de vos besoins en matière énergétique, des coûts comparatifs des différentes options techniques réalisables et de vos capacités financières de supporter soit un capital substantiel, soit des dépenses d'exploitations élevées.

.3 DEMANDE DE FINANCEMENT:

Il existe une multitude de mode de financement. Le plus réaliste reste encore une bonne vieille hypothèque. À cet égard, toute institution bancaire sera principalement concernée par des points qui limitent grandement votre liberté: la valeur marchande de votre centrale [i.e. bricolage et usage de matériaux usagers à éviter]; l'échéancier de votre projet ainsi que la date certifiée d'opération.

Vous devez vous attendre à beaucoup de réticences à financer votre projet. Les minicentrales hydroélectriques sont encore mystérieuses pour les marchés financiers. Accentuez donc, non pas les différences, mais bien les ressemblances de votre projet par rapport aux affaires routinières. Associer à votre dossier le nom d'un bureau sérieux en génie s'avère grandement stratégique.

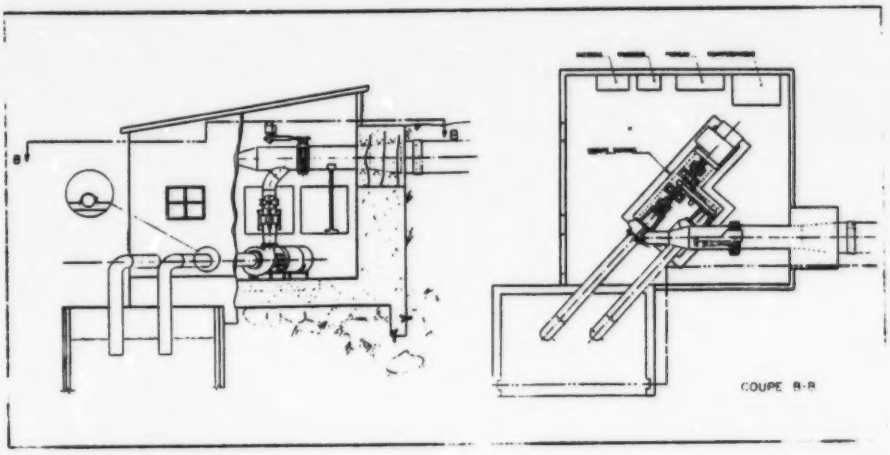
.4 PLANS ET DEVIS:

Vous devrez préparer plusieurs séries de plans et devis dont vous aurez besoin tout au long de votre projet pour les études techniques, la demande d'hypothèque, le choix d'une entreprise de construction, les achats, la réalisation et finalement pour la mise à jour de votre centrale après construction.

Il va sans dire qu'une minicentrale n'exige pas des dossiers aussi étoffés qu'un mégaprojet. Vous devrez cependant avoir un document aussi volumineux que celui nécessaire à la construction d'une maison domiciliaire. Se rajoute à ceci tous les plans d'installation et de contrôle des machines tournantes hydrauliques et électriques ainsi qu'une liste exhaustive de toutes les pièces, matériaux et équipements, aussi petits soient-ils. Cette liste est absolument nécessaire pour préparer les achats, tenir le registre de garantis et obtenir la police d'assurance.

8. ÉTUDE DE CAS: UNE MICROCENTRALE PRIVÉE

IDENTIFICATION: Cascades Savard, Manicouagan (Québec)



PROPRIÉTAIRE: Léonidas Savard inc. [Restaurant Relais Gabriel]

PUISSANCE: 46 KW

RÉALISATION: 1988

CAPITAL INVESTI: 170 000 $

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

Installations civiles		Installations électriques	
Hauteur de chute:	15,25 m	Alternateur:	50 kW
Débit:	237 L/s	Vitesse:	1 200 RPM
Conduite forcée:	51 cm de diamètre	Tension:	600/347 V
Turbines: (2)	Francis; 29 et 17 kW.	Fréquence:	60 hz
		Transformateur:	600/240-120V; 75 kW
Ligne de transmission:	2,5 km	Production:	440 000 kW.h/an.

9. QUI SONT LES GENS ET LES ORGANISMES CAPABLES DE VOUS AIDER?

Plusieurs paliers de gouvernements, les manufacturiers de turbines, d'alternateurs ou de conduites, les groupe-conseils en génie offrent des services professionnels (parfois payants) notamment des chartes, des cartes, des études et des renseignements techniques. À titre d'exemples, voici quelques noms:

.1 LES GOUVERNEMENTS:

Gouvernement fédéral:
Énergie , Mines et Ressources Canada
Direction de la technologie de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement -
580, rue Booth
Ottawa, Ontario
K1A 0E4
(613) 995 - 3065

Gouvernement provincial [Québec]
Direction de l'aménagement
8, rue Cook, 1e étage
Québec (Québec)
G1R 5H2
(418) 643 - 4566

.2 LES MANUFACTURIERS D'ÉQUIPEMENTS:

Dominion Bridge Sulzer inc.
555, rue Notre-Dame
Lachine (Québec)
H8S 2B1
(514) 634-3551

Ossberger Turbines inc.
5709 South Laburnum ave.
Richmond, Virginie 23231
USA
(804) 226-9180

Hydrolec
925, boul. Leroy-Somer
Granby (Québec)
J2G 8E2
(514) 378-0595

Allis-Chalmers
3625 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3K 1Z2
(416) 789-5337

Barber Waterpower products
P.O. Box 340
Port Colborne, Ontario
L3K 5W1
(416) 835 - 5661

Small Hydro Electrics Canada Ltd.
Box 54
Silverton, B.C.
V0G 2B0
(604) 358-2406

FLYGT Canada
300, av. Labrosse
Pointe-Claire (Québec)
H9R 4V5
(514) 695-0100

.3 LES GROUPES-CONSEILS: (liste non limitative)

Le GROUPE-CONSEIL LNR et ass.
3285, boul Saint-Martin Est
Laval (Québec)
H7E 4T6
(514) 327-1522

2700, boul. Laurier
Bureau 3100
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4K5
(418) 653-9368

3385, rue King Ouest
Sherbrooke (Québec)
J1L 1P8
(819) 565-3385

Le GROUPE SNC
1, Complexe Desjardins
Montréal (Québec)
H5B 1C8
(514) 282 - 9551

LAVALIN inc.
110, boul. René-Lévesque ouest
Montréal (Québec)
H3B 4P3
(514) 876 - 4455

DESSAU et ass. inc.
1080, Côte du Beaver Hall, 3e étage
Montréal (Québec)
H2Z 1S8
(514) 876 - 3646

TECSULT inc.
85, rue Sainte-Catherine ouest
Montréal (Québec)
H2X 3P4
(514) 287 - 8643

ANNEXES

Annexe 1: Glossaire
Annexe 2: Sommaire du projet
Annexe 3: Mesure du débit
Annexe 4: Mesure de la hauteur de chute
Annexe 5: Liste de manuels utiles

ANNEXE 1
GLOSSAIRE

Alternateur asynchrone: Machine tournante qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à la présence d'un champ magnétique alternatif [fourni par le réseau].

Alternateur synchrone: Machine tournante qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à la présence simultanée d'un champ magnétique alternatif et d'un champ constant.

Barrage: Ouvrage servant à retenir l'eau pour recouvrir la prise d'eau ou en prévision de demande excessive pour le débit moyen.

Bassin et canalisation d'entrée - amont: Bassin et canalisation à ciel ouvert au niveau supérieur.

Bassin et canalisation d'évacuation - aval: Bassin et canalisation à ciel ouvert au niveau inférieur.

Charge hydraulique: Pression exercée par l'épaisseur et le débit d'eau; en pi ou m.

Cheminée de compensation: Réservoir qui sert à absorber le retour de l'eau au moment de son interruption afin d'éviter les coups de bélier.

Conduite forcée: Canalisation fermée.

Consommation électrique: Alimentation d'une charge pour une certaine période temps; en Watts.h.

Coups de bélier: Choc mécanique de l'onde de retour de l'eau au moment où elle est interrompue.

Crue. Élévation du niveau d'eau consécutive à la période de fonde des neiges.

Débit moyen: Débit moyen pour 365 jours consécutifs dans l'année.

Débit minimum annuel ou **Débit le plus faible dans l'année:** Débit le plus faible pour 5 jours consécutifs dans l'année

Débit minimum absolu: Débit le plus faible pour 5 jours consécutifs depuis 20 ans.

Générateur: Machine tournante qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à la présence d'un champ magnétique constant.

Hydrogramme: Relevé des débits d'un cours d'eau pour un laps de temps.

Nomogramme: Graphique permettant de trouver des valeurs interreliées sans avoir à les calculer.

Puissance électrique: Alimentation instantanée d'une charge; en Watts.

Réseau autonome: Réseau indépendant.

Réseau interrellié: Réseau, indépendant ou non, qui peut échanger avec un réseau public.

Roues vitruviennes: Roues hydrauliques des moulins à eau et des bateaux à vapeur.

Turbines à impulsion: Machine tournante qui convertit, en énergie mécanique, l'énergie cinétique d'une chute.

Turbines à réaction: Machine tournante qui convertit, en énergie mécanique, l'énergie de pression de l'eau.

ANNEXE 2
SOMMAIRE DU PROJET

BESOINS ÉNERGÉTIQUES:

Consommation annuelle: _____ kW.h

Charge maximum quotidienne: _____ kW

Charge maximum annuelle: _____ kW _____ date

DÉBITS MINIMA:

Débit mesuré: _____ L/s ou pi3/s _____ date

Comparateur consigné:

Débit mesuré: _____ L/s ou pi3/s _____ date

Débit minimum annuel (5 j consécutifs): _____ L/s ou pi3/s _____ date

Débit minimum en 20 ans (5 j consécutifs) _____ L/s ou pi3/s _____ date

Débit minimum annuel <u>calculé</u>: _____ L/s ou pi3/s

Débit minimum en 20 ans <u>calculé</u>: _____ L/s ou pi3/s

Débit minimum annuel <u>mesuré</u>: _____ L/s ou pi3/s _____ date

Débit minimum en 20 ans <u>mesuré</u>: _____ L/s ou pi3/s _____ date

[NOTE: 1 m3/s = 1000 L/s = 35.31 pi3/s = 2118 pi3/min]

HAUTEURS DE CHUTE:

Hauteur de chute théorique: _____ m

Hauteur de chute brute: _____ m

niveau du bassin d'admission _____ m

INSTALLATIONS CIVILES ET ÉLECTRIQUES

Conduite d'amenée: Longueur _____ m Diamètre: _____ cm

Conduite d'évacuation: Longueur _____ m Diamètre: _____ cm

Ligne de transport: Longueur _____ km Diam. fils: _____ cm

Machine tournante hydraulique: Roue: _____ Turbine: _____

Machine tournante électrique: Générateur: _____ Alternateur: _____

ANNEXE 3

MESURE DU DÉBIT

1. LA MÉTHODE DU FLOTTEUR:

Cette méthode sert à mesurer le débit [Q] pour fin du calcul préliminaire de la puissance électrique disponible à la génératrice selon:

$$P = \frac{e \times Q \times H}{k} \qquad \text{[Équation 2]}$$

or le débit est égal à:

$$Q = V_{moyenne} \times A \qquad \text{[Équation 3]}$$

où
$V_{moyenne}$= Vitesse moyenne du cours d'eau
A= Aire d'écoulement

Selon cette méthode, vous devez donc:

- mesurer le <u>temps</u> que prend un flotteur pour parcourir une <u>distance</u> déterminée, puis
- mesurer l'aire d'écoulement correspondante du cours d'eau en relevant la <u>largeur</u> et la <u>profondeur</u> de la section de votre cours d'eau avec un ruban à mesurer ou une tige graduée.

Mais attention! *L'eau s'écoule plus lentement en profondeur qu'en surface. On estime que la vitesse moyenne d'un cours d'eau est égale à 90% de sa vitesse de surface.*

1.1 Mesure de la vitesse de surface:

Cherchez un endroit où votre cours d'eau est droit sur au moins 10 m de long. Posez deux bornes repères sur un même côté de la rive pour déterminer une distance [D] connue. Préparez un objet flottant et facile à voir de loin en guise de flotteur. Lancez-le au large afin d'éviter les remous de la berge. Commencez à chronométrer lorsque le flotteur passe devant la première borne et mesurez le temps [T] qu'il prend pour se rendre à la deuxième. Recommencez l'essai plusieurs fois en changeant le point d'impact du flotteur. Calculez la vitesse d'écoulement de surface selon:

$$V_{surface} = \frac{D}{T_{moyen}} \qquad \text{[Équation 4]}$$

Exemple 1:
Vous placez vos deux bornes distantes de 60 m. ››› Donc D= 60 m.

Vous mesurez quatre temps de descente égaux à: 29; 30; 31 et 30 secondes.

Donc

$$T_{moyen} = \frac{[29+30+31+30]\ s}{4}$$
$$= 30\ s$$

Alors:

$$V_{surface} = \frac{60\ m}{30\ s}$$
$$= 2\ m/s$$

1.2 Calcul de la vitesse moyenne:

$$V_{moyenne} = 0{,}9\ V_{surface} \qquad \text{[Équation 5]}$$
$$= \frac{0.9\ D}{T_{moyen}}$$

Exemple 2:
Vous avez mesuré la vitesse d'écoulement de surface de votre cours d'eau qui est égale à 2 m/s.

Donc:

$$V_{moyenne} = 0{,}9 \times 2\ m/s$$
$$= 1{,}8\ m/s$$

1.2 Mesure de l'aire d'écoulement:

En marchant dans l'eau ou en étant installé sur un objet flottant fixe, il s'agit de mesurer la coupe transversale du cours d'eau avec un niveau et un ruban pour trouver:

$$A = Pr_{moy} \times L \qquad \text{[Équation 6]}$$

où
A= Aire d'écoulement
Pr_{moy}= Profondeur moyenne du cours d'eau
L= Largeur du cours d'eau

Choisissez un endroit entre vos deux bornes pourvu qu'il paraisse représentatif de la largeur moyenne. Mesurez cette largeur [L] à la surface de l'eau avec un ruban sous-tendu entre les deux berges.

Divisez ensuite cette largeur L en 5 sections égales ce qui donnera automatiquement 4 repères en surface. Mesurez la profondeur sous les 4 repères [P_1, P_2, P_3, P_4]. Assumant que les deux berges s'abaissent progressivement, la profondeur moyenne est égale à:

$$P_{moyenne} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{5} \qquad \text{[Équation 7]}$$

1.3 Calcul du débit de votre cours d'eau:

Connaissant la vitesse d'écoulement de surface et l'aire nous pouvons calculer le débit sachant que:

$$Q = 0{,}9\ V_{surface} \times A \qquad \text{[Équation 4]}$$

Exemple 3:
- Le cours d'eau est large de 10 m.
- La vitesse de surface est de 2 m/s
- Les profondeurs répertoriées sont égales à 1; 2,25; 3 et 1,25 m.

Alors:

$$A = \left[\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{5} \right] \times L$$
$$= \left[\frac{1 + 2{,}25 + 3 + 1{,}25}{5} \right] m \times 10\ m$$
$$= 15\ m^2$$

Donc:

$$Q = 0{,}9\ V_{surface} \times A$$
$$= 0{,}9 \times 2\ \frac{m}{s} \times 15\ m^2$$
$$= 27\ m^3/s$$

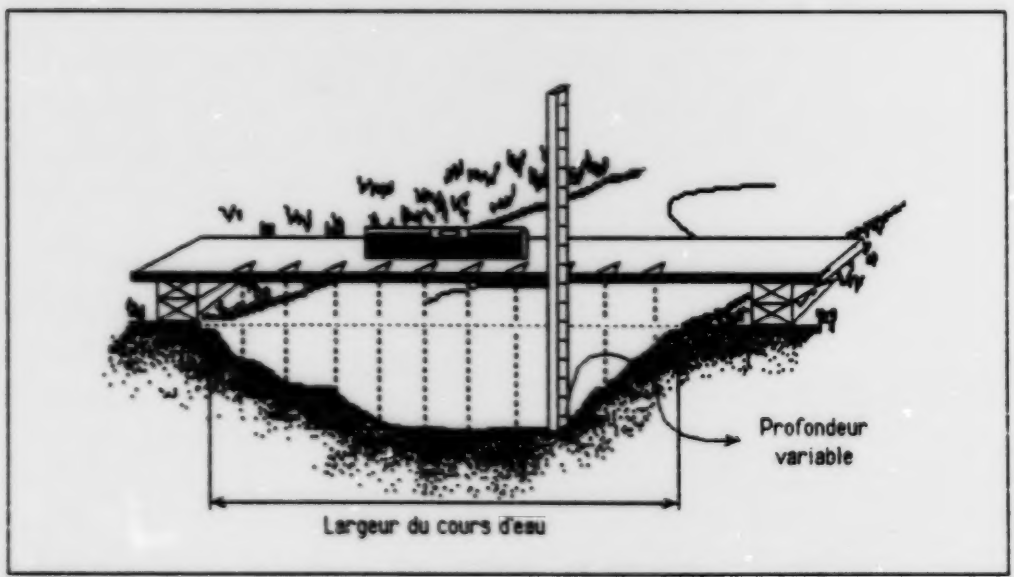


Figure 18- Mesure de la profondeur moyenne d'un cours d'eau.

ANNEXE 4

MESURE DE LA HAUTEUR DE CHUTE

1. Les méthodes de mesure de la hauteur de chute:

Ces méthodes servent à mesurer la hauteur de chute [H] pour fin du calcul préliminaire de la puissance électrique disponible à la génératrice selon:

$$P = \frac{e \times Q \times H}{k} \qquad \text{[Équation 2]}$$

Il s'agit de mesurer la différence de hauteur absolue entre la prise d'eau et l'emplacement de la sortie d'eau de la turbine avec:

- un altimètre, ou
- un niveau d'arpentage ou de génie, ou
- un niveau de menuiserie, ou
- un clinomètre.

1.1 L'altimètre :

Un altimètre de poche peut vous fournir une première indication de la différence d'élévation. Cependant l'exactitude de cette mesure n'est pas suffisante pour des calculs sérieux. Il existe des altimètres plus dispendieux qui peuvent mesurer à 1 mètre près. Si la hauteur de chute est très supérieure à 10 m, ils peuvent servir aux calculs préliminaires quoiqu'ils ne soient pas aussi bons que les méthodes d'arpentage.

1.2 Le niveau d'arpentage ou de génie:

Le niveau d'arpentage consiste en un niveau à bulle d'air fixé parallèlement à un viseur à lunettes. Il est utilisé avec une perche d'arpentage de 12'. Il s'agit de mesurer de façon répétitive des élévations inférieures à la longueur de la perche selon:

$$H = h_1 + [\, h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + \ldots + h_{n-1} \,] - h_n$$

Attention aux niveaux d'eau des bassins d'entrée [h_1] et d'évacuation [h_n].
Ils ne sont pas négligeables si la hauteur de chute est faible.

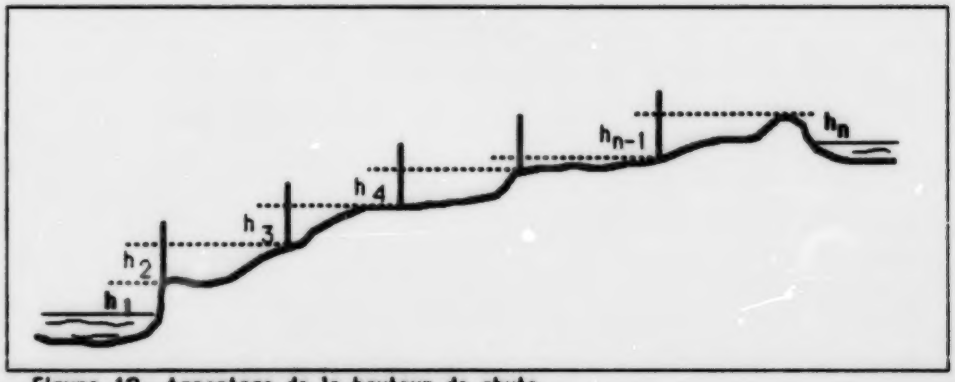


Figure 19- Arpentage de la hauteur de chute.

1.3 Le niveau de menuiserie:

Lorsqu'on ne dispose pas d'un niveau d'arpentage, on peut bricoler un procédé similaire avec un niveau de menuiserie. Dans ce cas, la distance mesurée sera beaucoup plus courte à chaque lecture comme on ne dispose pas d'une lunette intégrée. Il s'agit d'utiliser une perche qui se rend jusqu'à une tige graduée et d'ajuster cette perche à l'horizontal grâce au niveau. Évidemment, les lectures seront beaucoup plus nombreuses donc plus laborieuses.

Figure 20- Niveau de menuiserie

1.1 Le clinomètre:

Le clinomètre, ou inclinomètre, est une petite lentille qui sert à trouver la pente d'un terrain dont on mesure la longueur au sol avec un ruban à mesurer de 30 ou 50m. Il faut une tige avec marqueur et une table de conversion trigonométrique. Ceci permet ultérieurement de déduire la différence d'élévation entre deux points consécutifs. Ici aussi, on doit procéder de façon répétitive.

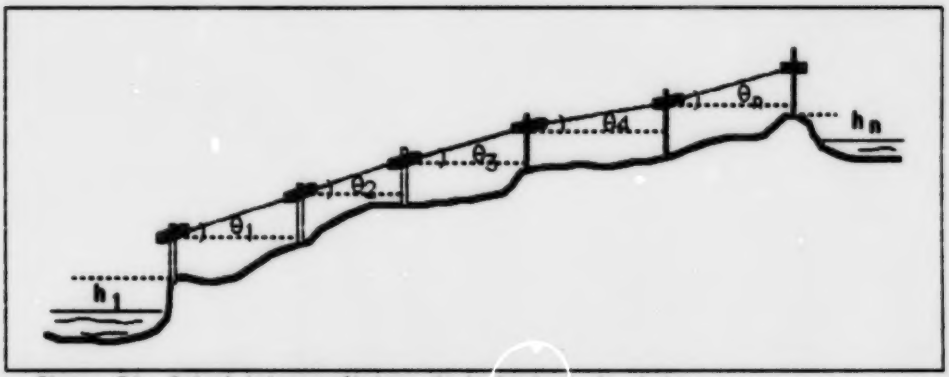


Figure 21- Calcul trigonométrique de la hauteur de chute.

Il faut ajuster la hauteur du marqueur sur la tige au niveau des yeux puis la placer à 30 ou 50 m du point de mesure. Regarder ensuite dans le clinomètre (sans se pencher pour ne pas invalider le marqueur sur la tige) et lire l'angle vertical. À l'aide d'une table trigonométrique ou d'une calculatrice programmée, on peut calculer la distance. Il faut recommencer en avançant vers le sommet.

Évidemment, c'est beaucoup plus facile quand on est deux. ***Mais attention,*** dans ce cas, il faut ajuster le marqueur au niveau des yeux de la personne qui lit le clinomètre.

!!!!!!!!!!!!

Pour vérifier la mesure finale, on peut redescendre en effectuant le même procédé. Si la différence finale est inférieure à 5%, on peut faire la moyenne des deux résultats. Autrement, on doit recommencer!

ANNEXE 5

LISTE DES MANUELS UTILES

Exploitation à coût modique de petites installations de houille blanche ; H.W. Hamm; Volontaires en assistance technique, Arlington, Virginia.

Les microcentrales hydroélectriques ; L. Monition, M. Le Nir, J. Roux; Masson, 1981.

Micro-hydro power: Energy from Ontario Streams; Ministry of Energy for Ontario, 1983.

Small hydro engineering manual; Ontario Ministry of ernergy, 1988.

Micro-hydropower: reviewing and old concept; R. Alward, S. Eisenbart, J. Volkman; National Center for Appropriate Technology, US Community Services Administration, 1979.

Lexique des barrages
[anglais/français]
Bulletin de terminologie 178, Mariette Grandchamp-Tupula; Ministère des Approvisionnements des Services Canada, 1988.